

42 – Medida de magnitudes: instrumentos y procedimientos. El error en la medida

1. INTRODUCCIÓN

La metrología es la ciencia que tiene por objeto el estudio de las unidades y de las medidas de las magnitudes físicas; define también las exigencias técnicas de los métodos e instrumentos de medida.

Una magnitud física adquiere sentido cuando se la compara con otra que se toma como elemento de referencia.

2. MAGNITUDES

Magnitud es todo ente abstracto que siendo susceptible de variación puede ser medido. Para medir una magnitud se la compara con otra de su misma especie que convencionalmente se toma como término de comparación y que recibe el nombre de unidad.

Podemos distinguir entre tres pares de magnitudes: fundamentales y derivadas, simples y compuestas y escalares y vectoriales.

2.1. Sistemas de unidades

Los sistemas de unidades más utilizados son el sistema cegesimal o científico, el sistema giorgi o práctico y el sistema técnico; el sistema internacional (SI) podemos considerarlo como el sistema giorgi ampliado. Tanto en Estados Unidos como en el Reino Unido se utilizan los sistemas Práctico inglés y Técnico inglés.

En muchos casos la unidad resulta un valor inadecuado, por lo que es necesario el uso de múltiplos o submúltiplos.

3. CARACTERÍSTICAS DE MEDICIÓN

3.1. Alcance

Alcance de indicación: viene determinado por el espacio comprendido entre el comienzo el final de la escala. Se denomina generalmente alcance del aparato aunque también se le conoce como campo de indicación.

Alcance de medida: comprende aquella parte de la escala en la que resultan válidas las indicaciones del aparato. Se le denomina generalmente campo de medida o calibre.

3.2. Sensibilidad

La sensibilidad de un aparato de medida es la relación entre el desplazamiento del índice observado en el aparato y la variación de la magnitud que ha provocado dicho desplazamiento.

3.3. Constante

Se llama constante de un aparato de medida al valor inverso de la sensibilidad.

Sistema	Magnitudes fundamentales	Unidades fundamentales
Cegesimal	Longitud	Centímetro
	Masa	Gramo
	Tiempo	Segundo
Giorgi	Longitud	Metro
	Masa	Kilogramo
	Tiempo	Segundo
Técnico	Longitud	Metro
	Fuerza	Kilogramo-fuerza
	Tiempo	Segundo
Internacional	Longitud	Metro
	Masa	Kilogramo
	Tiempo	Segundo
	Intensidad de corriente	Amperio
	Temperatura termodinámica	Grado Kelvin
	Intensidad luminosa	Candela
	Cantidad de sustancia	mol

4. ERRORES DE MEDICIÓN

4.1. Errores accidentales

Se cometen por la forma de efectuar la medida.

- Error de paralaje: se comete cuando, al observar el índice del aparato, la visual no es perpendicular a la escala y se lee entonces una desviación mayor o menor que la real.
- Error de apreciación: depende de la dificultad con que se aprecie la lectura cada vez que el índice se detiene entre dos divisiones de la escala.

4.2. Errores sistemáticos

Se denominan sistemáticos a los errores que se cometen al realizar una medición como consecuencia de las cualidades intrínsecas de los aparatos utilizados y del método empleado en la medida.

Los errores sistemáticos sólo pueden ser corregidos empleando aparatos más precisos, o modificando las condiciones o métodos de medida.

Error absoluto: Diferencia obtenida restando el valor verdadero de una magnitud de su valor medido.

Error relativo: Cociente entre el error absoluto y el valor verdadero de la magnitud medida.

Error intrínseco: Cociente entre el error absoluto y el valor convencional multiplicado por cien.

4.3. Clases de precisión

Exactitud de un aparato de medida es la concordancia entre el valor de la medida indicado en el aparato y el valor exacto de la magnitud medida. La precisión de un aparato de medida está definida por los límites del error intrínseco.

La incertidumbre establece los límites de error absoluto en cualquier punto de la escala en comparación con la medida real.

5. MAGNITUDES MECÁNICAS

5.1. Unidades de longitud

La unidad de longitud por excelencia es el metro.

5.2. Instrumentos para mediciones lineales

Son aparatos que sirven para medir la distancia entre dos puntos definidos. Están graduados tomando como unidad múltiplos o submúltiplos del metro, adecuados al valor de las magnitudes a medir.

- **Metros:** son instrumentos formados por reglas flexibles o rígidas que sirven para medir longitudes, generalmente están divididos en centímetros y milímetros. Por la forma como están contruidos pueden clasificarse en: plegables, flexibles y flexibles arrollables.
- **Regla graduada:** es una placa de acero de varios milímetros de espesor y longitud variable que dispone de una escala graduada en uno de sus cantos, dividida mediante trazos en centímetros, milímetros y medios milímetros. Algunos modelos disponen de una segunda escala dividida en pulgadas y sus fracciones.

5.1.2. El nonius

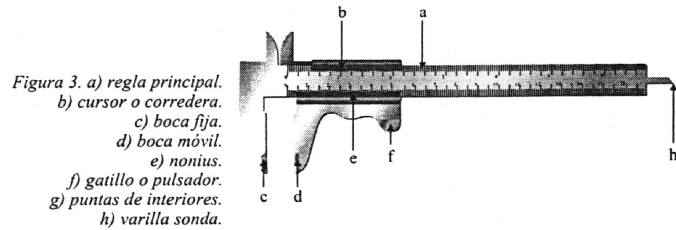
Nos resultaría prácticamente imposible hacer diez divisiones en una longitud de un milímetro, puesto que el propio trazo de la división tiene un espesor del orden de décimas y el ojo humano tampoco las diferenciaría claramente. Tal problema queda resuelto con el nonius.

5.1.3. Calibrador o pie de rey

Este instrumento es el más utilizado en las mediciones de precisión. Su uso generalizado se debe tanto a su fácil manejo y las grandes posibilidades de aplicación, como a la precisión con que realiza la medición.

Esta formado por dos partes claramente diferenciadas:

- Una regla graduada de acero inoxidable que en un extremo tiene una escuadra denominada boca fija, que dispone de dos escalas: una graduada en milímetros y otra en dieciseisavos de pulgada.
- Un cursor, provisto de una boca móvil, que se desliza sobre la regla y lleva incorporado el nonius. Va provisto de un gatillo que permite mantener fijo o desplazar este cursor.



5.1.4. Micrómetro

Es un instrumento de precisión que toma medidas con mayor exactitud que el pie de rey. Debe su nombre a su capacidad para obtener medidas del orden de las micras; a los utilizados para medidas exteriores se les llama pálmer.

Su principio de funcionamiento se basa en que si en una tuerca fija se hace girar un tornillo, una vuelta completa, axialmente se produce un avance equivalente al paso del tornillo.

5.2. Unidades angulares

El ángulo es la figura formada por dos semirrectas que parten de un mismo punto. El punto se llama vértice y las semirrectas lados. Un ángulo tiene por medida el arco de circunferencia comprendido entre sus lados y es igual al arco dividido por el radio.

Los ángulos se miden en grados, minutos y segundos en los sistemas centesimal y sexagesimal, y en radianes.

El radián es el ángulo central de una circunferencia correspondiente a un arco de longitud igual al radio de la misma. Una circunferencia completa vale 2π radianes.

5.2.1. Instrumentos de medidas angulares

Goniómetros

Es todo aparato que sirve para medir ángulos. Disponen de un círculo o semicírculo graduado llamado limbo en el que se realizan, directamente, las lecturas del valor del ángulo objeto de medición.

Transportadores

Son un tipo de goniómetro. Son aparatos de gran sencillez que disponen de una escala, graduada generalmente de 0° a 180° . Permiten determinar, de forma directa o utilizando mecanismos muy simples (reglillas giratorias, etc.), el ángulo que forman dos líneas o dos planos de una pieza.

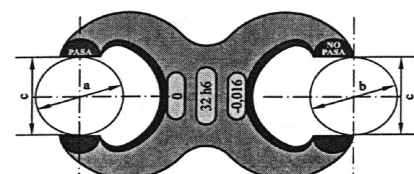
Los tipos de transportadores más usados son: transportador simple o semicírculo graduado, de brazo móvil y universal o goniómetro de Vauvel.

5.2.2. Nonius en el goniómetro

Con los instrumentos del tipo visto anteriormente se obtiene una medida muy imprecisa, puesto que no podemos determinar debidamente fracciones pequeñas de grado.

El fundamento del nonius para medidas angulares es el mismo que el de medidas lineales. Junto a la escala del limbo se deslizará un trozo de corona circular con otra escala auxiliar o nonius.

5.3. Calibres de tolerancia



Los calibres de tolerancia son unos instrumentos que sirven para comprobar si una determinada dimensión de una pieza está dentro de los límites de tolerancia, o sea, comprobar si esta dimensión está comprendida entre las cotas máxima y mínima admisibles.

Los calibres de tolerancia no nos dan la medida de una pieza, resultando su utilización un sistema muy práctico y rápido de verificación de piezas, especialmente para grandes cantidades.

5.3.1. Tipos de calibres. Aplicaciones

Los calibres de tolerancia, conocidos con el nombre de “pasa” y “no pasa”, según la pieza a comprobar, se clasifican de la siguiente manera:

- Calibres de tampón: se utilizan en la verificación de agujeros de hasta 100 mm de diámetro.
- Calibres planos: empleados para agujeros cuyos diámetros están comprendidos entre 100 y 250 mm.
- Calibres prismáticos: se emplean en el control de agujeros o alojamientos de perfiles cuadrado, rectangular o hexagonal.
- Calibres de varillas: su utilizan para agujeros de diámetros superiores a 100 mm.
- Calibres de herradura: se emplean en la verificación de ejes y pueden ser de una boca o de dos.
- Calibres de anillos: se emplean para ejes de pequeño diámetro.
- Calibres para roscas.

5.4. Magnitudes de presión

La presión en mecánica se define como la fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas perpendicularmente a dicha superficie. La presión puede medirse en atmósferas (atm), Kg/cm²; en el SI la presión se expresa en pascal (Pa), que equivale a 1 newton por metro cuadrado (N/m²).

5.4.1. Medidores de presión mecánicos

Se clasifican según el elemento primario de medida:

- Los de medida directa, en los que se compara la presión a medir con la ejercida por un líquido (mercurio, agua, etc.) de densidad y altura conocidas; los más comunes son: barómetro de cubeta y manómetros.
- Los elásticos; entre ellos los más habituales son: el tubo de Bourdon, el espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

5.4.2. Medidores de presión neumáticos

El elemento fundamental de estos medidores es el transmisor neumático, que se basa en un sistema tobera-obturador. Está formado por un tubo alimentado a presión constante, con una reducción en su salida en forma de tobera que se ve obstruida por una lámina llamada obturador.

5.4.3. Medidores de presión electromecánicos

Estos medidores están formados por un elemento mecánico elástico y un transductor eléctrico que genera una señal eléctrica proporcional a la presión medida. Se clasifican en : resistivos, capacitivos, magnéticos, extensométricos y piezoeléctricos.

6. MEDIDA DE TEMPERATURA

Los aparatos de medida de temperatura se fundamentan en la variación de una magnitud física por acción de la temperatura. Los más conocidos son: variación de volumen o estado de un cuerpo, resistencia de un conductor o semiconductor, diferencia de potencial generada en la unión de dos metales, radiación emitida y la frecuencia de resonancia de un cristal.

6.1. Termómetro de vidrio

Este termómetro aloja en un depósito un fluido que, al calentarse, se expande y sube por un tubo capilar. El fluido más conocido es el mercurio, pero también se utilizan otros que dan lugar a campos de medición diferentes.

6.2. Termómetro bimetalico

Se fundamenta en el coeficiente de dilatación diferente de dos metales. Las láminas bimetalicas se construyen habitualmente en forma de espiral, uno de sus extremos está fijo y el otro móvil. Éste último lleva incorporada la aguja indicadora. Tiene una precisión elevada y sus márgenes de medición van de -200° a $+500^{\circ}$ C.

6.3. Termómetro de bulbo

Está formado por un bulbo conectado por un capilar a una espiral y ésta, a su vez, a una aguja indicadora. Cuando la temperatura del bulbo aumenta, el fluido se expande provocando la expansión de la espiral y desplaza a la aguja indicadora. El fluido puede ser líquido, vapor o gas.

6.4. Sondas de resistencia

Se fundamentan en la característica de los conductores de variar su resistencia eléctrica con la temperatura.

Se construyen formando un arrollamiento de hilo de baja sección y de un conductor con un coeficiente de temperatura positivo elevado (platino, níquel).

6.5. Termistores

Son componentes electrónicos de un coeficiente de temperatura negativo de valor elevado, lo que les confiere una sensibilidad mayor que las sondas de resistencia e intervalos de medida muy pequeños.

6.6. Termopares

Al calentar la unión de dos metales diferentes se produce una fuerza electromotriz que depende de la temperatura de la unión. Se utilizan para medir temperaturas elevadas y corrientes de radiofrecuencia, ya que llevan asociadas un efecto de calentamiento.

6.7. Pirómetros de radiación

Estos miden la temperatura de un cuerpo distante en función de la radiación térmica que emiten.

7. MEDIDA DE PESO

Peso es la fuerza con que un cuerpo es atraído por la Tierra, siendo la expresión que lo determina la siguiente:

$$P = m \cdot g$$

Existen diversos métodos para medir el peso: por comparación, mediante balanzas y báscula, por pesaje electrónico, por pesaje hidráulico y por pesaje neumático.

8. MEDIDA DE VELOCIDAD

La medida de velocidad, en revoluciones por minuto (r.p.m.), se realiza mediante un aparato denominado tacómetro. Los tacómetros más habituales son mecánicos y eléctricos.

9. MEDIDA DE DENSIDAD

La densidad de un cuerpo se define como su masa por unidad de volumen, expresándose en g/cm^3 , o la unidad correspondiente en otro sistema de medida. La densidad es un valor relativo, ya que depende de la temperatura y de la presión. Aunque existen diferentes métodos de medida de densidad para líquidos y gases, los más habituales son: aerómetros, refractómetros y balanza de gases.

10. MAGNITUDES ACÚSTICAS

La acústica es la parte de la ciencia que se ocupa del estudio del sonido (propiedades, producción, propagación y recepción).

Las magnitudes acústicas más utilizadas son: la presión sonora, velocidad de vibración, intensidad sonora, nivel de presión sonora y nivel de intensidad sonora.

10.1. Aparatos de medida de magnitudes acústicas

- Fonendoscopio: se utiliza para los sonidos de órganos humanos internos.
- Fonógrafo: aparato capaz de registrar y reproducir las vibraciones de los sonidos por medios mecánicos.
- Sonómetro: aparato capaz de medir el nivel de intensidad sonora.
- Analizador de espectros: en la medida y visualización de las señales de radio frecuencia se utiliza este aparato.

11. MAGNITUDES ÓPTICAS

La óptica es la parte de la física que se ocupa de la propagación y el comportamiento de la luz; se divide en dos grandes campos: la óptica geométrica y la óptica física.

Las magnitudes más significativas de la óptica son:

- Frecuencia: es el número de oscilaciones por segundo en un punto de la onda luminosa.
- Longitud de onda: es la distancia a lo largo de la dirección de propagación entre dos puntos que ocupan posiciones equivalentes en la onda
- La velocidad de una onda electromagnética es el producto de su frecuencia y su longitud de onda.
- Índice de refracción de una sustancia es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de una longitud de onda determinada en esa sustancia.

11.1. Aparatos de medida de magnitudes ópticas

- Estroboscopio: es un dispositivo que, mediante una fuente de luz, permite ver un elemento giratorio en reposo.
- Espectrógrafo: se aplica al análisis químico.
- Espectrofotómetro: se usa para medir la intensidad de un espectro determinado en comparación con la intensidad de luz procedente de una fuente patrón.
- Red de difracción: en estos instrumentos la luz se dispersa mediante una red de difracción en lugar de un prisma.
- Análisis espectral: la luz se emite y se absorbe en unidades minúsculas o corpúsculos llamados fotones o cuantos.
- Luxómetros: estos instrumentos miden el nivel de iluminación (intensidad luminosa en un espacio determinado).
- Fotómetro: este instrumento mide la intensidad de una fuente luminosa.
- Bolómetro: este instrumento se utiliza para medir energías radiantes en el rango del espectro comprendido entre las ondas luminosas y las microondas.
- Interferómetro: este instrumento se utiliza para medir la distancia de las franjas de interferencias luminosas.

12. MAGNITUDES ELÉCTRICAS

Todas las unidades eléctricas son interdependientes, por lo que siempre es posible la medición de una magnitud empleando unidades que corresponden a otras magnitudes diferentes.

Los valores medidos pueden representarse mediante indicación analógica o digital.

12.1. Constitución de los aparatos de medida

Los instrumentos tradicionales de medida se componen de un dispositivo o sistema de medida y sus accesorios, incorporados en la misma caja. Por dispositivo de medida se entiende el elemento móvil del instrumento con todos los órganos que permiten su movimiento.

12.2. Sistemas de medida

Se entiende por sistema de medida de un aparato el conjunto de elementos del mismo que aprovechan los distintos efectos de la corriente eléctrica para accionar los dispositivos indicadores. Existen siete grandes grupos de sistemas de medida que se diferencian esencialmente en su principio de funcionamiento:

12.2.1. Aparatos térmicos

Pueden ser de dos tipos, aunque para su funcionamiento se basen en los mismos efectos.

- Aparato térmico de hilo: aparato en el que se transmite al sistema móvil la dilatación de un hilo, debida a su calentamiento directo o indirecto por la corriente. Se basa en la acción calorífica de la corriente eléctrica.
- Aparato bimetalico: aparato en el que se transmite al sistema móvil la deformación de un elemento bimetalico, debida a su calentamiento directo o indirecto por la corriente. Es sistema bimetalico está basado en el empleo del bimetel para producir el desplazamiento de la aguja indicadora.

12.2.2. Aparatos de hierro móvil

Aparato dotado de una pieza móvil de material ferromagnético, sometida a la acción de una bobina fija recorrida por una corriente o a la de una pieza fija de material ferromagnético imantada por la corriente. Estos aparatos, conocidos también como ferromagnéticos, presentan algunas variantes en el sistema de funcionamiento, siendo los más habituales el de absorción y el de paletas.

12.2.3. Aparatos de cuadro móvil

Aparato en el que un imán permanente fijo actúa sobre uno o varios cuadros móviles recorridos por la corriente o corrientes.

El principio de funcionamiento de estos aparatos, también llamados de imán fijo y bobina móvil o magnetoeléctricos, se basa en el desplazamiento que sufre un conductor recorrido por una corriente al encontrarse dentro de la acción de un campo magnético.

12.2.4. Aparatos de imán móvil

Aparato en el que una o varias bobinas fijas recorridas por la corriente o corrientes actúan sobre un imán permanente móvil o sobre un sistema de imanes permanentes móviles. Constan de un electroimán en forma de herradura cuya bobina es recorrida por la corriente a medir, y de un pequeño imán que puede girar libremente en el entrehierro del electroimán.

12.2.5. Aparatos electrodinámicos

El principio constructivo de un sistema electrodinámico de medida consiste esencialmente en una bobina fija y otra móvil, girando ésta alrededor de un eje. Debido a los esfuerzos electrodinámicos que actúan entre las dos bobinas, se produce un par motor que hace girar la bobina móvil en el interior de la bobina fija hacia la posición en que los flujos magnéticos coinciden.

12.2.6. Aparatos de inducción

El funcionamiento de los aparatos de inducción está basado en las interacciones de los flujos magnéticos, periódicamente variables, producidos por la corriente alterna y las corrientes inducidas por estos flujos en la parte móvil del aparato de medida. Generalmente, la parte móvil no es una bobina, sino un elemento metálico (disco o tambor).

12.2.7. Aparatos electrostáticos

Aparatos que funcionan bajo la influencia de fuerzas electrostáticas. Es sistema de medida electrostático está constituido esencialmente por un condensador de capacidad variable. El par motor se produce en el sistema por la interacción de las placas del condensador cargadas.

12.3. Medición de magnitudes eléctricas

12.3.1. Medición de intensidad

El aparato de medida utilizado para medir intensidades es el amperímetro, que se conecta en serie con el circuito cuya intensidad de corriente se va a medir.

12.3.1.1. Ampliación del campo de medida de los amperímetros

Para poder medir corrientes de valores superiores al alcance del amperímetro se recurre a diversos artificios según el tipo de corriente que queramos medir. Para medir corrientes continuas se conecta, en paralelo con el amperímetro, una resistencia calibrada llamada shunt.

Para la medición de corrientes alternas de valor elevado se utilizan transformadores de intensidad. La corriente que consume el circuito pasa por el primario del transformador y la corriente en el secundario es proporcional a la que atraviesa el primario.

13.3.2. Medición de tensión

La medición de tensión se realiza con un aparato denominado voltímetro. La mayor parte de estos aparatos constan de un galvanómetro con una gran resistencia R conectada en serie con él, situados ambos en el interior de la caja del aparato. Al ser constante la resistencia al tensión a medir es proporcional a la intensidad que recorre el aparato, con lo que será suficiente medir dicha intensidad para conocer la tensión.

12.3.2.1. Ampliación del campo de medida de los voltímetros

La ampliación del campo de medida de los voltímetros se realiza mediante resistencias adicionales en serie y con transformadores de tensión.

12.3.3. Medición de potencia

La potencia, en corriente continua viene dada por el producto de la tensión y la intensidad. En corriente alterna existen tres expresiones posibles de potencia eléctrica.

- Activa: $P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$ en vatios.
- Reactiva: $Q = V \cdot I \cdot \sin\varphi$ en voltamperios reactivos.
- Aparente: $S = V \cdot I$ en voltamperios.

12.3.3.1. Medición de potencia en corriente continua

Para medir la potencia en corriente continua podemos emplear el procedimiento voltiamperimétrico, consistente en medir los factores de tensión e intensidad y realizar el producto de las mediciones, o el de utilización del vatímetro, el cual realiza directamente la medición de potencias.

12.3.3.2. Medición de potencia activa en circuitos monofásicos de c.a.

Para la medición de potencia activa en circuitos monofásicos pueden utilizarse los siguientes sistemas: método de los tres amperímetros, método de los tres voltímetros o mediante vatímetro.

12.3.4. Medición de resistencia

Para medir la resistencia de un elemento es necesario recurrir a una fuente de tensión: pila, batería, etc. La tensión aplicada hará circular una corriente; la resistencia se obtiene entonces del cociente de ambas magnitudes.

Los métodos de medida utilizados son:

- Mediante voltímetro y amperímetro: este procedimiento utiliza una fuente de corriente continua y consiste en hallar el valor de la resistencia a medir mediante el cociente entre las lecturas del voltímetro y el amperímetro.
- Mediante ohmímetro: este aparato, también denominado óhmetro, está constituido por un galvanómetro de cuadro móvil en serie con una pila y una o varias resistencias, según que el aparato sea de un solo calibre o de varios.
- Mediante megóhmetro: es un aparato destinado a medir grandes resistencias, tales como las de aislamiento.
- Mediante puentes de medida: la utilización de puentes de medida para medir resistencias es de uso caso exclusivo de laboratorios de electrónica, dada su gran exactitud en la medida.

12.3.5. Medición de frecuencia

La medición de la frecuencia se efectúa por medio de instrumentos de indicación directa denominados frecuencímetros. Existen frecuencímetros de láminas vibrantes y frecuencímetros de aguja.

12.3.6. Medición del factor de potencia

La relación entre la potencia activa P y la aparente S se denomina factor de potencia. Corresponde al coseno del ángulo de desfase entre la potencia activa y la aparente, por lo que se hable indistintamente de factor de potencia o de $\cos \varphi$.

Para la medición del factor de potencia en circuitos monofásicos y trifásicos de corriente alterna, se utilizan los procedimientos de medición indirecta y medición directa.

12.3.7. Medición de magnitudes eléctricas con tenazas

12.3.7.1. Tenaza voltiamperimétrica

Se utiliza sólo en circuitos de corriente alterna de BT (Baja Tensión) para medir esencialmente la intensidad de corriente que circula por un conductor, sin necesidad de interrumpir el circuito. Son conocidas como tenazas amperimétricas.

Está constituida por un transformador de intensidad cuyo núcleo magnético tiene forma de pinza, sobre el cual está montado el secundario formando un solo conjunto. El primario del transformador lo constituye el propio conductor, cuya intensidad se desea medir.

12.4. Aparatos de medida digitales

Se caracterizan por una mayor simplicidad en la lectura y una mayor exactitud en la medida, ya que la lectura es directa (se presenta en forma de dígitos).

El elemento fundamental de estos aparatos es el conversor analógico-digital, que se encarga de transformar la señal a medir, de carácter analógico, en señal digital.

12.4.1. Osciloscopio

Es un dispositivo capaz de percibir las variaciones de una magnitud variable con el tiempo y obtener una imagen de tal magnitud que sea directamente observable.

Las partes fundamentales de un osciloscopio son: el tubo de rayos catódicos, el amplificador vertical, el amplificador horizontal y los circuitos de base de tiempos y sincronismos.